

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-140059
(P2001-140059A)

(43)公開日 平成13年 5月22日 (2001.5.22)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

C 2 3 C 14/28

C 2 3 C 14/28

4 K 0 2 9

H 0 1 L 21/203

H 0 1 L 21/203

Z 5 F 1 0 3

審査請求 有 請求項の数4 書面 (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平11-359610

(22)出願日 平成11年11月12日 (1999. 11. 12)

(71)出願人 301000033

文部科学省金属材料技術研究所長
茨城県つくば市千現一丁目2番1号

(72)発明者 福富 勝夫

茨城県つくば市千現1丁目2番1号 科学
技術庁金属材料技術研究所内

(72)発明者 小森 和範

茨城県つくば市千現1丁目2番1号 科学
技術庁金属材料技術研究所内

(72)発明者 川岸 京子

茨城県つくば市千現1丁目2番1号 科学
技術庁金属材料技術研究所内

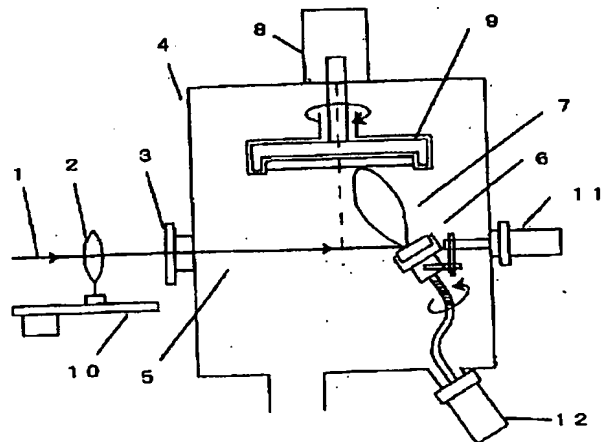
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザー蒸着成膜方法

(57)【要約】

【課題】 大きな面積を持つ基板ウェハー上における高品質な薄膜の生成を、低コスト、高効率で実現する新しいレーザー蒸着成膜方法を提供する。

【解決手段】 レーザービーム(1)を集光レンズ(2)により集光し、チャンバー(4)に設置されたレーザー導入窓(3)からレーザービーム(1)を入射し、回転機構(12)および水平移動機構(11)を有するターゲット(6)上に焦点を結ぶことにより発生したレーザープラズマ(7)を、レーザービーム(1)の光軸に水平に設置された回転機構(8)を有する基板(9)に接触させることにより、基板上にターゲット物質の薄膜を生成するレーザー蒸着成膜方法であって、ターゲット(6)の法線方向とレーザービーム(1)の光軸方向が一定の角度を有し、また、ターゲット(6)と集光レンズ(2)との間隔が集光レンズ(2)によるレーザービーム(1)の焦点距離と等しくなるよう維持しつつ、ターゲット(6)および集光レンズ(2)を水平移動させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザービームを集光レンズにより集光し、チャンバーに設置されたレーザー導入窓からレーザービームを入射し、回転機構および水平移動機構を有するターゲット上に焦点を結ぶことにより発生したレーザープルームを、レーザービームの光軸に水平に設置された回転機構を有する基板に接触させることにより、基板上にターゲット物質の薄膜を生成するレーザー蒸着成膜方法であって、ターゲットの法線方向とレーザービームの光軸方向が一定の角度を有し、また、ターゲットと集光

$$\Delta t = A x^n$$

(ただし、

$$n = 1.5 \sim 3$$

$$A = T / \{ (\Delta r)^n + (2 \Delta r)^n + (3 \Delta r)^n + \dots + r_A^n \}$$

であり、

Δr : ターゲットの1回当たりの移動距離

r_A : ターゲットの全移動距離

T : 全成膜時間)

で決定することを特徴とする請求項1記載のレーザー蒸着成膜方法。

【請求項3】 請求項1記載のレーザー蒸着成膜方法を実現するレーザー蒸着成膜装置であって、レーザービームを集光するための集光レンズと、集光レンズを水平移動させるためのスライダと、レーザー蒸着用チャンバーと、このチャンバーに設置されたレーザー導入窓と、法線方向がチャンバー内に導入されたレーザービームの光軸方向と一定の角度を持ち、かつ、回転機構および水平移動機構を有するターゲットと、チャンバー内に導入されたレーザービームの光軸方向に水平に設置された回転機構を有する基板とを具備し、ターゲットの回転速度、位置、および水平移動速度と、集光レンズの位置および水平移動速度、基板の回転速度が、任意に制御可能であることを特徴とするレーザー蒸着成膜装置。

【請求項4】 請求項1記載のレーザー蒸着成膜方法を実現するレーザー蒸着成膜装置であって、コンピュータを用いたモーター駆動制御により、集光レンズおよびターゲットの位置、移動距離、移動速度を制御し、基板上の任意の領域を成膜領域として設定し、均質膜を生成することを特徴とするレーザー蒸着成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この出願の発明は、レーザー蒸着成膜方法に関するものである。さらに詳しくは、大きな面積を持つ基板ウェハー上に、高品質な薄膜を生成することが可能となるレーザー蒸着成膜方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術とその課題】レーザー蒸着法は、金属、セラミックス、有機物質といった各種の物質から、比較的容易に薄膜を生成することが可能であることから、新し

レンズとの間隔が集光レンズによるレーザービームの焦点距離と等しくなるよう維持しつつ、ターゲットおよび集光レンズを水平移動させることを特徴とするレーザー蒸着成膜方法。

【請求項2】 基板中心を原点とし、基板半径方向をx軸方向、基板法線方向をy軸方向と考える座標系において、ターゲットのx座標が $x=r$ であるとき、そのx座標における座標保持時間 Δt を、次式

【数1】

(1)

い薄膜生成技術として、近年さかんに研究開発が行われている。事実、レーザー蒸着法による薄膜生成技術は、現在、実験室における研究段階から製品製造の現場での実用段階への移行期にあり、高温超伝導薄膜応用分野（マイクロ波フィルター、アンテナ、遅延素子）、半導体素子分野（フラットパネル表示素子用薄膜、IRタイオードアレー用光学膜）などの幅広い工業分野への応用が期待されている。

【0003】しかしながら、小さなレーザープルーム近傍に成膜領域が限局されることから、大面積を持つ基板上への成膜処理には適さず、産業上の応用には限界があった。

【0004】このため、レーザー蒸着法により、大面積を持つ基板ウェハー上への高品質な薄膜の生成を実現すべく、多くの方法の提案がなされてきた。例えば、図4に示すように、回転するターゲットステージ(41)に固定されたターゲット(42)および回転する基板ステージ(43)に固定された基板(44)を、それぞれの回転の中心軸が距離dの間隔をおくように配置し、進行方向が固定されたレーザービーム(45)によりレーザープルーム(46)が形成され、薄膜の生成が行われるオフアクシス法が挙げられる。しかし、この方法においては、単純な機構による方法であるが、基板の一辺の上限が25mm程度であり、十分に大きい面積を持つ薄膜生成は不可能である。

【0005】オフアクシス法を改良した方法で、図5に示すように、進行方向が固定されたレーザービーム(51)により形成されるレーザープルーム(52)中を、基板(53)が、回転と同時に水平移動を繰り返すことにより薄膜を生成する方法(J. A. Geer et al, J. Vac. Sci. Technol. 13(1995) pp. 1176)も提案されているが、この方

法においては、回転と水平移動と、更には基板の加熱とを同時に実現するために、装置の機構が極めて複雑になることから、工業的規模での実用化は困難であるといわれている。

【0006】一方、レーザービームの進行方向を固定せず走査させる方法として、例えば、図6に示すように、レーザー導入窓(61)を通過し、レーザービーム(62)がチャンバー(63)内部に入射する。このとき、集光レンズ(64)を偏心回転させることにより、レーザービーム(62)がターゲット(65)上に結ぶ焦点の位置を変動させることにより、レーザービーム(66)の形成範囲を広げ、基板(67)上の広範囲に薄膜を生成する方法(K. H. Wu et al, Physica C289(1993), p. 230)が提案されている。また、同様な方法として、図7に示すように、集光レンズ(71)と反射鏡(72)を同時に平行移動させ、レーザービーム(73)が位置を固定されているターゲット(74)上に結ぶ焦点の位置を変動させ、これに伴い、レーザービーム(75)の形成範囲を広げることにより回転する基板(76)上に薄膜を生成する方法(K. Fujino et al, Appl. Supercond. Vol. 5(1997), p. 41)も提案されている。これらの方法により、大面積の成膜は可能となるが、大きな面積を持つターゲットを用意する必要がある上に、レーザービームの焦点位置をターゲット上で大きく走査させるためには、大きなレーザー導入窓が不可欠となる。通常、レーザー窓として用いられる材料は、高価な石英かサファイアであり、しかも、蒸着物質の付着汚染とレーザー照射による損傷のために、定期的に交換する必要がある、コストパフォーマンスを考慮した改善が望まれている。

【0007】この出願の発明は、以上の通りの事情に鑑みてなされたものであり、大きな面積を持つ基板ウェハー上における高品質な薄膜の生成を、低コスト、高効率で実現する新しいレーザー蒸着成膜方法を提供することを課題としている。

【0008】

【課題を解決するための手段】この出願の発明は、レーザービームを集光レンズにより集光し、チャンバーに設置されたレーザー導入窓からレーザービームを入射し、回転機構および水平移動機構を有するターゲット上に焦点を結ぶことにより発生したレーザービームを、レーザービームの光軸に水平に設置された回転機構を有する基板に接触させることにより、基板上にターゲット物質の薄膜を生成するレーザー蒸着成膜方法であって、ターゲットの法線方向とレーザービームの光軸方向が一定の角度を有し、また、ターゲットと集光レンズとの間隔が集光レンズによるレーザービームの焦点距離と等しくなるよう維持しつつ、ターゲットおよび集光レンズを水平移動させることを特徴とするレーザー蒸着成膜方法を提供

する(請求項1)。

【0009】この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法は、基板中心を原点とし、基板半径方向をx軸方向、基板法線方向をy軸方向と考える座標系において、ターゲットのx座標が $x=r$ であるとき、そのx座標における座標保持時間 Δt を、次式

【0010】

【数2】

$$\Delta t = A x^n$$

(ただし、

$$n = 1, 5 \sim 3$$

$$A = T / \{ (\Delta r)^n + (2 \Delta r)^n + (3 \Delta r)^n + \dots + r_A^n \}$$

であり、

Δr : ターゲットの1回当たりの移動距離

r_A : ターゲットの全移動距離

T : 全成膜時間)

【0011】で決定することを特徴とする(請求項2)。また、上記のレーザー蒸着成膜方法を実現するレーザー蒸着成膜装置であって、レーザービームを集光するための集光レンズと、集光レンズを水平移動させるためのスライダと、レーザー蒸着用チャンバーと、このチャンバーに設置されたレーザー導入窓と、法線方向がチャンバー内に導入されたレーザービームの光軸方向と一定の角度を持ち、かつ、回転機構および水平移動機構を有するターゲットと、チャンバー内に導入されたレーザービームの光軸方向に水平に設置された回転機構を有する基板とを具備し、ターゲットの回転速度、位置、および水平移動速度と、集光レンズと位置および水平移動速度、基板の回転速度が、任意に制御可能であることを特徴とするレーザー蒸着成膜装置を提供する(請求項3)。

【0012】さらに、上記のレーザー蒸着成膜方法を実現するレーザー蒸着成膜装置であって、コンピュータを用いたモーター駆動制御により、集光レンズおよびターゲットの位置、移動距離、移動速度を制御し、基板上の任意の領域を成膜領域として設定し、均質膜を生成することを特徴とするレーザー蒸着成膜装置も提供する(請求項4)。

【0013】

【発明の実施の形態】この出願の発明は上記のとおりの特徴をもつものであるが、以下にその実施の形態について説明する。

【0014】この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法においては、まず、レーザー光源より照射されるレーザービームを集光レンズにより集光し、レーザー蒸着用チャンバーに設置されたレーザー導入窓から、レーザー蒸着用チャンバー内部にレーザービームを入射する。レーザー蒸着用チャンバー内部に入射されたレーザービームの焦点は、回転するターゲットステージに固定されたターゲット上に結ばれ、レーザービームの励起によってターゲ

ットによるレーザーブルームが発生する。発生したレーザーブルームの先端が基板に接触することにより、基板上にターゲット物質が累積する。ターゲットをレーザー光軸方向と水平に移動させつつ、基板を回転することにより、基板上にはターゲットの物質による薄膜が生成される。

【0015】この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法においては、ターゲットが、レーザー光軸方向に水平移動する際に、集光レンズもターゲットに同期して基板と水平に移動する。ターゲットと集光レンズの間隔は、集光レンズによるレーザービームの焦点距離と等しくなるように設定される。これにより、常にターゲット上でレーザービームの焦点が結ばれることから、常に同じ条件下でターゲットの励起が行われ、均一な厚さを持つ薄膜の生成が可能となる。

【0016】また、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法においては、ターゲットと集光レンズの水平移動距離を制御することにより、基板上に任意の大きさの薄膜を生成することも可能である。

【0017】さらに、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法においては、基板は回転運動のみで移動する必要がないことから、加熱ヒーターは、固定され備え付けられ、加熱ヒーターに近接して組み込まれた基板ホルダーのみが回転する。したがって、大型基板の高温加熱を容易に行うことが可能となる。

【0018】この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法においては、ターゲットがその位置に保持される時間を位

置に応じて設定することによっても、大面積の基板全域に渡って均質な膜厚を得ることを高い精度で実現している。以下に、この方法について、具体的に示す。

【0019】図8に示したような、基板(81)中心を原点とし、基板半径方向をx軸方向、基板法線方向をy軸方向と考える座標系において、ターゲット(82)の法線方向とのなす角度 α 度でレーザービーム(83)を照射し、ターゲット物質を励起蒸発させ、基板上に成膜する場合を考える。このとき、一般的には、基板上に堆積する薄膜は余弦法則に従う膜厚の分布を取るが、実際には、レーザーブルーム(84)がレーザービームの入射方向に僅かに広がって生成するため、薄膜(85)の膜厚は不均一なものとなる。また、基板の最外縁部では、レーザーブルームの約半分しか蒸着に寄与しないことも、膜厚が不均一となる原因となる。

【0020】ターゲットが $x=r$ (mm)の座標にあるときに、ターゲットをその位置に保持する時間(座標保持時間)を Δt とすると、理論的には r と Δt とを比例するように設定することにより均一の膜厚を得ることが可能であるが、実際には、前記の通りの問題があり、膜厚は不均一となる。

【0021】そこで、 r と Δt との関係式を以下のように定めることにより、基板全域に渡り均一な膜厚を持つ薄膜が生成される。

【0022】

【数3】

(1)

$$\Delta t = A x^n$$

(ただし、

$$n = 1, 5 \sim 3$$

$$A = T / \{ (\Delta r)^n + (2 \Delta r)^n + (3 \Delta r)^n + \dots + r_A^n \}$$

であり、

Δr : ターゲットの1回当たりの移動距離

r_A : ターゲットの全移動距離

T : 全成膜時間)

【0023】また、全成膜時間は、次式で求められる。

【数4】

【0024】

$$T = \frac{\pi D^2 \mu \rho}{4 f m} \quad (2)$$

(ただし、

m : レーザー1パルス当たりのターゲット物質の蒸発量 (g/パルス)

μ : 生成される薄膜の膜厚 (cm)

D : 基板の直径 (cm)

ρ : 薄膜物質の密度 (g/cm³)

f : レーザービームの照射繰り返し数 (パルス/s))

【0025】式(1)の関係式は、実験的に見出されたものであり、ターゲット座標 $x=r$ のときの座標保持時間 Δt を、式(1)にしたがって設定する事により、大面積の基板上に均一の厚さを持つ薄膜を生成することが、高い精度で実現される。

【0026】この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法を実現するレーザー蒸着成膜装置としては、図1として例示したように、レーザービーム(1)が集光レンズ(2)を通過し、レーザー導入窓(3)からチャンバー(4)内部に導入される。チャンバー(4)内部に導入

されたレーザービーム(1)は、法線方向がレーザー光軸方向(5)に対して一定の角度を持つように傾斜して設置されているターゲット(6)上で焦点を結び、ターゲット(6)を励起し、レーザービーム(7)を形成する。レーザービーム(7)の先端部は、入射レーザー光軸(5)に対して水平に設置された回転機構(8)を有する基板(9)に接触し、基板(9)上に薄膜を生成する。

【0027】集光レンズ(2)はスライダ(10)上に設置され、レーザー光軸方向(5)に水平移動が可能である。また、ターゲット(6)は、その支持機構が水平移動機構(11)と回転機構(12)と連結されており水平移動および回転運動が可能である。ターゲット(6)と集光レンズ(2)は、両者の間隔が集光レンズ(2)によるレーザービームの焦点距離と等しくなるように維持され、レーザー光軸方向と水平な方向に往復移動する。

【0028】この出願の発明のレーザー蒸着成膜装置においては、コンピュータ制御を利用したモーター駆動によって、集光レンズおよびターゲットの位置、移動距離、移動速度の制御がなされてよい。

【0029】この出願の発明は、以上の特徴を持つものであるが、以下に実施例を示し、さらに具体的に説明する。

$$\Delta t_k = A x_k^n$$

【0035】したがって、
【0036】

$$T = \sum_{k=1}^{12} \Delta t_k = \sum_{k=1}^{12} A x_k^{1.5} = A(5^{1.5} + 10^{1.5} + 15^{1.5} + \dots + 60^{1.5}) \quad (4)$$

【0037】が成立し、上記の定数を代入して、 $A = 2.1$ が求まり、ターゲットの座標保持時間と座標との関係式が導出された。

実施例2

実施例1の条件下で、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法による薄膜の生成を実施した。レーザー蒸着成膜装置として、図1で例示した構成を持つレーザー蒸着成膜装置を製作した。

【0038】作製したレーザー蒸着成膜装置において、集光レンズの焦点距離は700mmであった。ターゲットには、直径35mmの $YBa_2Cu_3O_y$ (YBCO) 超伝導体を用い、法線方向が入射レーザー光軸に対して50度傾斜させて設置した。ターゲットの水平移動機構として、ストローク120mmの水平移動導入機を用いた。レーザー導入窓材としては、直径35mmの石英製の円板を用いた。基板は直径120mmのガラス円板を用いた。

【0039】ターゲットは、移動距離 $\Delta r = 5$ mm毎に、保持時間 $\Delta t = A x^n$ の間だけ停止するように設定

【0030】

【実施例】実施例1

この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法における式(1)の関係式を構成する定数 n および A の導出に関して、実施例により具体的に説明する。

【0031】ターゲット物質として $YBa_2Cu_3O_y$ (YBCO) 超伝導体を用いた場合、レーザーパワー密度 $4 J/cm^2$ 、レーザー照射部面積 $3 mm^2$ の条件下におけるレーザー1パルス当たりのターゲット物質の蒸発量 m は $0.3 \mu g/\text{パルス}$ となる。

【0032】また、YBCOの密度 ρ は $3.5 g/cm^3$ であり、レーザービームの照射繰り返し数 f を10パルス/s、基板の直径 D を1.2cm、また、生成される薄膜の膜厚 μ を $0.4 \mu m$ としたとき、式(2)より、全成膜時間 T は5300秒と求まる。

【0033】ターゲットを、基板の最外縁座標($x = 60$ (mm))より中心に向かって、1回当たりの移動距離 Δr を5mmとして移動するとき、実験から膜厚が均一となるための条件が $n = 1.5$ と定まり、移動毎に移動先の座標 x_k にターゲットが保持される時間 Δt_k ($k = 1, 2, \dots, 12$)は、次式で与えられる。

【0034】
【数5】

(3)

【数6】

した。ここでは、実施例1より $A = 2.1$ 、 $n = 1.5$ とした。ターゲットと集光レンズの間隔は、レンズの焦点距離である700mmに設定し、両者の全移動距離は60mmであった。

【0040】また、薄膜の生成は、雰囲気 $1.5 \times 10^{-1} Torr$ の酸素下、室温で行われた。レーザー照射繰り返し数は、10パルス/秒とした。生成された薄膜の基板半径方向の膜厚分布をダイヤモンド触針式膜厚計で測定した結果を、図2に示す。直径100mm内において、膜厚の誤差は $\pm 10\%$ 以下であった。

【0041】また、このとき、ターゲットの回転はレーザービームの照射位置の固定による穴掘り現象が発生しないことを目的としており、約1rpm程度の回転速度で十分であることが確認された。

実施例3

作製したレーザー蒸着装置によって、基板にはイットリア安定化ジルコニアバッファ層を設けたNi基合金板(50mm×50mm)を750℃に加熱し、雰囲気 $1.5 \times 10^{-1} Torr$ の酸素下で成膜を行なった。

ターゲットと集光レンズに関しては、コンピュータ制御によるステッピングモーターを用いて、移動距離 Δr を2mmに、保持時間 $\Delta t = A \times n$ においては $A = 0.016$ 、 $n = 3$ に設定した。ターゲットおよび集光レンズの全移動距離は30mmであった。また、レーザー照射繰り返し数は7パルス/秒とした。

【0042】生成された薄膜の膜厚と超伝導遷移温度分布を、図3に示す。図3より、膜厚と超伝導遷移温度の両方が、良好な均一性を示していることがわかる。

【0043】

【発明の効果】この出願の発明であるレーザー蒸着成膜方法によって、任意の大きさの基板上に大面積を持つ薄膜を生成することが可能となる。また、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法によって、レーザー導入窓を小型化できるため、高価な石英やサファイア製導入窓の交換に伴う経費が、大幅に削減される。さらに、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法は、原理的に、ターゲットが基板の大きさに依存しないことから、高価なターゲットの原料物質の利用効率が格段に高める効果も有する。

【0044】このように、この出願の発明のレーザー蒸着成膜方法によって、高品質な薄膜の生成が、低コスト、高効率で実現することから、その実用化が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】この出願の発明である大面積レーザー蒸着成膜装置の実施の形態を示す概略図である。

【図2】この出願の発明の実施例において、100mm径のガラス基板上に生成された薄膜の膜厚分布を示した図である。

【図3】この出願の発明の実施例において、50mm径のバッファ層付きNi基合金基板上に生成された薄膜の膜厚分布および超伝導遷移温度分布を示した図である。

【図4】従来技術によるレーザー蒸着成膜法を示した概略図である。

【図5】従来技術によるレーザー蒸着成膜法を示した概略図である。

【図6】従来技術によるレーザー蒸着成膜法を示した概略図である。

【図7】従来技術によるレーザー蒸着成膜法を示した概略図である。

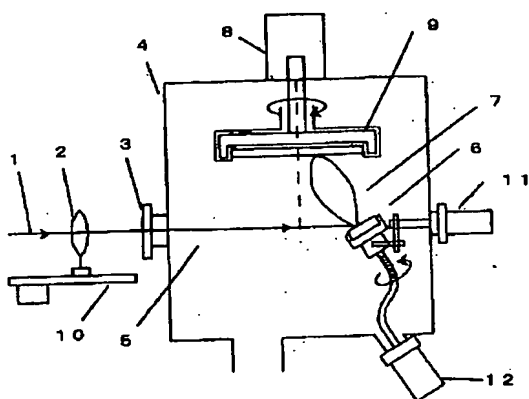
【図8】この出願の発明である大面積レーザー蒸着成膜

方法において薄膜生成の様子を示す概略図である。

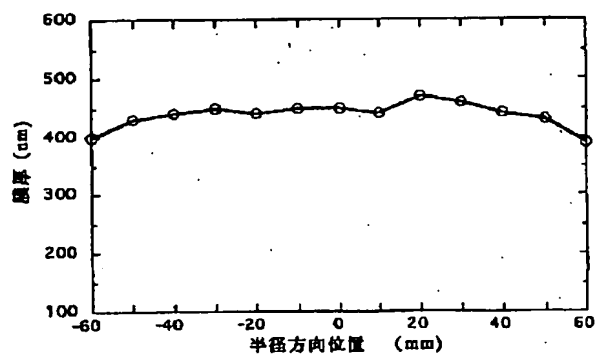
【符号の説明】

- 1 レーザービーム
- 2 集光レンズ
- 3 レーザー導入窓
- 4 チャンバー
- 5 レーザー光軸
- 6 ターゲット
- 7 レーザープルーム
- 8 回転機構
- 9 基板
- 10 スライダ
- 11 水平移動機構
- 12 回転機構
- 41 ターゲットステージ
- 42 ターゲット
- 43 基板ステージ
- 44 基板
- 45 レーザービーム
- 46 レーザープルーム
- 51 レーザービーム
- 52 レーザープルーム
- 53 基板
- 61 レーザー導入窓
- 62 レーザービーム
- 63 チャンバー
- 64 集光レンズ
- 65 ターゲット
- 66 レーザープルーム
- 67 基板
- 71 集光レンズ
- 72 反射鏡
- 73 レーザービーム
- 74 ターゲット
- 75 レーザープルーム
- 76 基板
- 81 基板
- 82 ターゲット
- 83 レーザービーム
- 84 レーザープルーム
- 85 薄膜

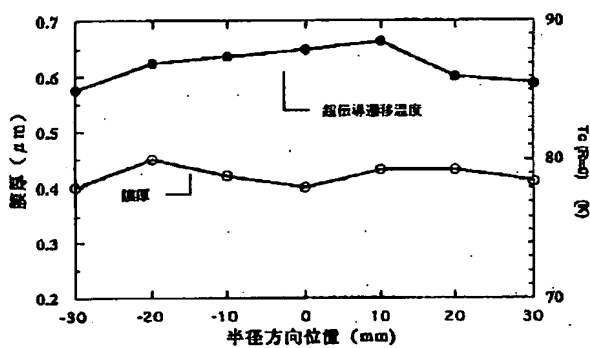
【图1】



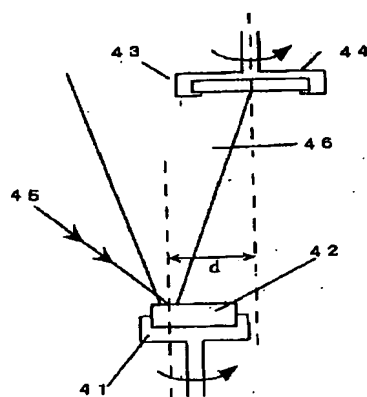
【图2】



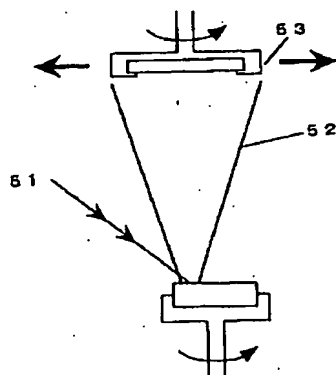
【图3】



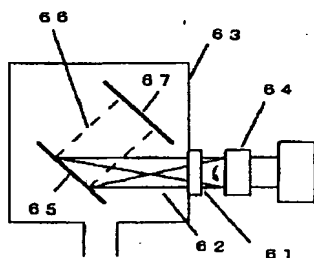
【图4】



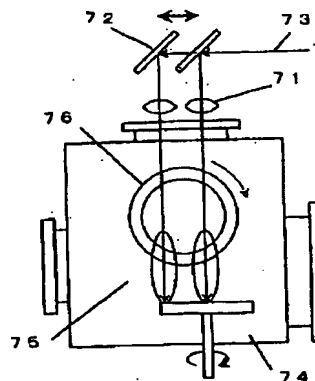
【图5】



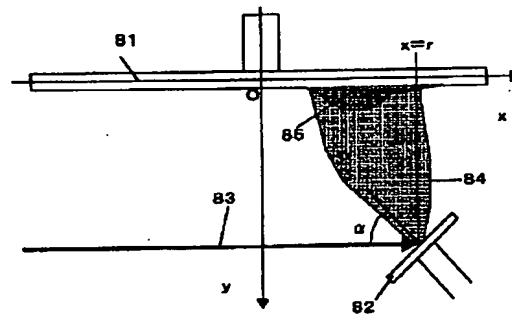
【图6】



【图7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 戸叶 一正
茨城県つくば市千現1丁目2番1号 科学
技術庁金属材料技術研究所内

Fターム(参考) 4K029 CA15 DB20 EA00
5F103 AA01 BB38 BB42 DD30 NN10
RR03 RR06